

# 强岩溶地区主过水通道注浆封堵技术探讨

王伏春, 乐 应, 白江红, 江 照

(湖北中南勘察基础工程有限公司, 湖北 武汉 430081)

**摘要:** 矿山帷幕注浆技术由于其具有安全、环保、经济、高效等特性, 已在国内多个矿山堵水中成功采用, 取得了很好的堵水效果。而在强岩溶地区, 动水注浆技术, 尤其是矿区主过水通道封堵质量将直接影响帷幕的堵水效果, 甚至决定着工程的成败。以广东凡口铅锌矿帷幕注浆工程为背景, 探讨强岩溶地区主过水通道封堵技术。

**关键词:** 帷幕注浆; 动水注浆; 强岩溶地区; 主过水通道; 矿山堵水

**中图分类号:** TD743; P634.5    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672-7428(2015)01-0076-04

**Discussion of Grouting Plugging Technology for Main Water Channel in Strong Karst Area/WANG Fu-chun, YUE Ying, BAI Jiang-hong, JIANG Zhao** (Hubei Central South Exploration & Foundation Engineering Co., Ltd., Wuhan Hubei 430081, China)

**Abstract:** Because of the characteristics of safety, environmental protection, economy and high efficiency, the mine curtain grouting has been successfully implemented in mines with good effects of water plugging. While in strong karst area, the water plugging effect will be directly influenced by the dynamic water grouting technique, especially by the plugging quality of main water channel, which is the key factor affecting the success of the project. With the background of a curtain grouting engineering in Fankou lead-zinc mine of Guangzhou, the paper discusses the grouting plugging technology for main water channel in strong karst area.

**Key words:** curtain grouting; dynamic water grouting; strong karst area; main water channel; mine water plugging

## 1 工程概况

广东凡口铅锌矿为我国有名的岩溶大水矿山, 水文地质条件复杂, 矿坑涌水量旱季为  $28000 \text{ m}^3/\text{d}$ , 雨季一般为  $38000 \text{ m}^3/\text{d}$ , 最大可达  $60000 \text{ m}^3/\text{d}$  以上。帷幕注浆前地下水防治方法为浅部截流疏干法, 经多年运行, 保证了矿山的安全生产。但随着长期疏干排水, 也暴露了许多问题, 主要体现在以下2方面: 一是地面塌陷频繁发生, 塌陷达数千个, 造成地表水大量下渗, 农田、地面设施损毁严重, 矿农矛盾突出; 二是排水、治理塌陷费用高, 井下排水费用每年高达800万元, 塌陷治理费用每年达300万元。为此, 矿山决定通过帷幕注浆的方式解决地下水问题, 从而彻底摆脱地下水对矿山开采的影响。

## 2 矿区工程地质、水文地质条件

### 2.1 矿区工程地质条件

矿区地质构造为一复式向斜, 轴向北西, 向南东倾伏。复式向斜内发育有近南北和东西向的次一级褶曲(如金星岭背斜、狮岭背斜), 以及一系列走向北东或北北东的压扭性断层(如  $F_3$ 、 $F_4$ 、 $F_5$  等)。

### 2.2 矿区水文地质条件

区内有3个基本含水层: 一是第四系含水层, 在矿床疏干过程中, 地表大量出现开裂和塌陷, 大气降水与农田用水等地表水可通过孔隙、塌陷开裂等通道补给下伏含水层, 具有较强透水性, 与裂隙水有水力联系, 所以, 矿区内第四系的隔水作用已遭到破坏; 二是位于含矿地层顶板的壶天群( $C_{2+3}ht$ )岩溶含水层, 该地层岩溶极为发育, 含有丰富的地下水, 覆盖于含矿层之上, 在金星岭以及狮岭的局部与矿体直接接触, 构成了矿体的直接或间接顶板, 在平面上以金星岭为界, 分为南、北2个区, 在垂向上分为上、下2个带——上部强岩溶带和下部弱岩溶带; 三是壶天群下部含矿地层的泥盆系中统东岗岭组上段( $D_2d^h$ )—泥盆系上统天子岭组下段( $D_3t^a$ )的灰岩裂隙含水层, 该含水层浅部(约50 m标高以上)岩溶较发育, 深部以裂隙含水为主, 渗透系数  $0.000336 \sim 0.2826 \text{ m/d}$ 。

### 2.3 矿区进水方向和通道

从长期观测资料分析, 矿坑主要存在3个明显的进水通道。

(1)  $F_4$ — $F_5$  断层之间的金星岭南部进水通道,水量  $16000 \sim 25000 \text{ m}^3/\text{d}$ ,集中从  $-40 \text{ m}$  新南截流巷涌出,雨季流量在旱季的基础上增大约  $50\%$ ,部分水点水质浑浊,且离 CK47 孔东侧塌陷群水平距离仅  $500 \text{ m}$ ,说明进水方向以南面为主,进水通道主要是溃入型通道(宽大裂隙或岩溶管道)。

(2) 西部隔水边界至  $F_4$  断层之间的狮岭南部进水通道,水量约  $1000 \text{ m}^3/\text{d}$ ,主要从狮岭南放水巷涌出,其中 28 号硐室涌水点水量随降雨量陡涨陡落,水质十分浑浊,且与 214/ZK11 孔北东侧塌陷的产生具有相关性,说明进水方向也是以南面为主,其进水通道也是以溃入型通道为主。

(3) 金星岭北部进水通道,水量约  $3800 \text{ m}^3/\text{d}$ ,主要从  $0 \text{ m}$  北截流巷涌出,水质清澈,附近地表稳定,表明进水通道以渗入型通道(裂隙、溶孔等)为主,进水方向为正东方向。

### 3 帷幕轴线布置

帷幕轴线全长  $1670 \text{ m}$  ( $E$ — $F$ — $G$ — $H$ — $I$ — $J$ ),钻孔 278 个,孔距  $8 \sim 10 \text{ m}$ ,局部加密到  $4 \text{ m}$ ,钻探进尺  $45834.69 \text{ m}$ 。帷幕建成后,地下水水位标高超过第四系底板,因此帷幕顶板即第四系,帷幕底板为进入相对隔水层(天子岭花斑状灰岩)  $5 \text{ m}$  以上。帷幕轴线布置如图 1 所示。

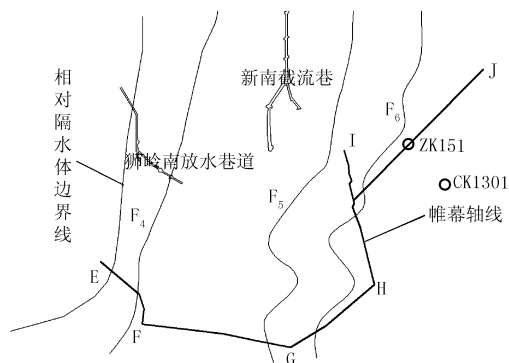


图 1 帷幕轴线布置示意图

## 4 施工要求

### 4.1 钻孔要求

布孔形式:单排孔。

孔位要求:为保证孔位准确无误,测量工作分钻孔施工前的放孔、施工完毕后的复测两步,要求与设计孔位偏差  $\geq 20 \text{ cm}$ 。

孔径要求:开孔  $\leq \varnothing 130 \text{ mm}$ ,终孔  $\leq \varnothing 91 \text{ mm}$ ,特

殊情况下可采用  $\varnothing 75 \text{ mm}$  终孔,第四系孔段下入  $\varnothing 127 \text{ mm}$  套管,并采用水灰比为  $0.6$  的纯水泥浆封固,待凝  $48 \text{ h}$ ,经扫孔,压水试验检验套管封固良好后方可进行基岩层的钻进。

孔斜控制标准:全孔孔斜率控制在  $1.5\%$  以内,孔斜超过设计要求的孔段必须进行纠斜处理。

孔深要求:孔深误差控制在  $2\%$  以内,要求每  $100 \text{ m}$  进行一次孔深验证工作,及时修正孔深参数。

地质编录要求:参考相应的矿区水文地质勘察规范,对岩性、岩溶、裂隙发育情况、溶洞充填情况、钻孔漏水深度、钻进速度等详细描述,取上岩心要求拍照保存,以便日后分析查看。

### 4.2 注浆要求

注浆方式:采用自上而下的纯压式或循环式注浆,视现场条件灵活选用。

注浆材料:水泥尾砂浆、改性水泥粘土浆,主要以改性水泥粘土浆为主,在注浆过程中,适当添加水玻璃速凝剂。

注浆压力:采用静水压力的  $1.5 \sim 2$  倍(孔口压力  $0.3 \sim 2.0 \text{ MPa}$ ),特殊孔段经设计单位同意可适当降低、提高注浆压力。

注浆结束标准:注浆压力均匀持续上升达到设计终压,同时钻孔吸浆量  $< 10 \sim 20 \text{ L/min}$  时,持续  $20 \sim 30 \text{ min}$  即可结束注浆。

钻孔封孔:采用水灰比  $0.6$  的纯水泥浆进行钻孔封孔,要求钻孔充填饱满、密实。

## 5 动水条件下主过水通道封堵措施

由于在帷幕注浆工程施工的同时,井下仍然正常生产排水,由此形成的疏干降落漏斗在帷幕轴线处形成近百米的水位差,大大增加了帷幕注浆施工的难度。尤其在 ZK85、ZK70、ZK151 三个钻孔施工时,由于处于矿区南部、东南方向的过水通道上,地下水剧烈流动对帷幕注浆施工影响很大,采用常规的注浆方式极易造成井下跑浆,对井下排水系统、排水设备产生致命伤害,同时也造成注浆材料的大量浪费。特别是位于主过水通道的 ZK151 钻孔,在注浆过程中,就连采用水泥-水玻璃双液浆灌注时,井下不到  $20 \text{ min}$  即发现跑浆,注浆被迫终止。为此,项目试验了多种处理方式,终将 ZK151 孔揭露的主过水通道封堵住。

### 5.1 灌注聚氨酯类浆液

考虑到普通的注浆材料在灌注初期没有任何强度,极易被水冲刷,无法形成有效封堵,而聚氨酯类灌浆材料具有以下良好的特性:

- (1)材料遇水反应,反应时间可在数秒到数十分钟之间调节;
- (2)反应迅速,反应生成物在数分钟后即具有一定强度,抗冲刷能力强;
- (3)反应物能够与岩体紧密胶结,保证充填有效;
- (4)反应生成物与注浆原料相比,体积膨胀 10~30 倍,实现快速、高效充填。

灌注聚氨酯类材料的优点是:该类材料遇水反应,且反应生成物能够与岩体紧密胶结,强度提升很快,且具有膨胀性,这些优点非常适合于动水注浆。缺点是:材料遇水反应,而且反应速度较快,由于南方气候潮湿,尤其是在地下水水位以下孔段注浆时,施工操作难度大,很容易造成堵管、堵泵现象,同时注浆完毕后扫孔困难,扫孔时间大大增加,注浆材料成本较高。本项目使用聚氨酯注浆材料 2.5 t。

5.2 投放充填材料

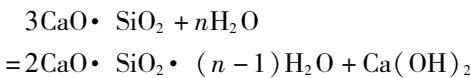
考虑到地下水流量大,流速快,普通浆液在初凝之前即被冲走,无法起到封堵裂隙的作用,因此大量投放海带、谷壳、粗砂、瓜米石等充填材料,待过水通道充填饱满后,再进行正常注浆,通过高压注浆,使浆液进入之前已充填的填充材料空隙内,从而达到固结填充材料、封堵细小裂隙的目的。材料投放的方式有干投和水冲式 2 种。

本项目共消耗的充填材料有:谷壳(稻草)8795 袋;海带 2644 kg;黄豆 1277 kg;瓜米石 895 m<sup>3</sup>。

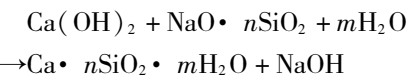
5.3 水泥-水玻璃双液注浆

5.3.1 基本原理

水泥本身的凝结和硬化主要是水泥水化析出凝胶性的胶体物质所引起的,在硅酸三钙的水化过程中产生氢氧化钙:



水泥与水玻璃的主要化学反应为:



在混合液中水泥与水玻璃的反应要比水泥本身的水解化学反应快得多。

5.3.2 室内试验

为了解水泥尾砂浆与水玻璃在不同配比的情况下,初凝时间的变化规律,我们进行了室内试验。水泥采用 P.C 32.5R 复合硅酸盐水泥,水玻璃模数为 3.14,浓度为 35.1 波美度,水泥浆水灰比为 0.6。实验结果如表 1 所示。

表 1 水泥-水玻璃双液浆配比试验成果表

序号	水泥浆量/ cm <sup>3</sup>	水玻璃量/ g      cm <sup>3</sup>		水玻璃与水泥浆的 体积比	水玻璃占水泥浆液体积 百分数/%	凝胶 时间/ s
1	500	7.92	5.74	0.011: 1	1.1	3774.00
2	500	13.20	9.57	0.019: 1	1.9	2032.00
3	500	15.84	11.48	0.023: 1	2.3	991.00
4	500	27.60	20.00	0.040: 1	4.0	621.37
5	500	34.50	25.00	0.050: 1	5.0	208.72
6	500	51.75	37.50	0.075: 1	7.5	28.50
7	500	69.00	50.00	0.100: 1	10.0	20.06
8	500	103.50	75.00	0.150: 1	15.0	25.51
9	500	138.00	100.00	0.200: 1	20.0	29.29
10	500	207.00	150.00	0.300: 1	30.0	27.54
11	500	276.00	200.00	0.400: 1	40.0	32.25
12	500	345.00	250.00	0.500: 1	50.0	46.42
13	500	414.00	300.00	0.600: 1	60.0	48.57
14	500	483.00	350.00	0.700: 1	70.0	67.32
15	500	552.00	400.00	0.800: 1	80.0	93.26
16	500	621.00	450.00	0.900: 1	90.0	111.32
17	500	690.00	500.00	1: 1	100.0	134.56

根据表 1,绘制出水泥浆中水玻璃含量与凝胶时间关系,见图 2。

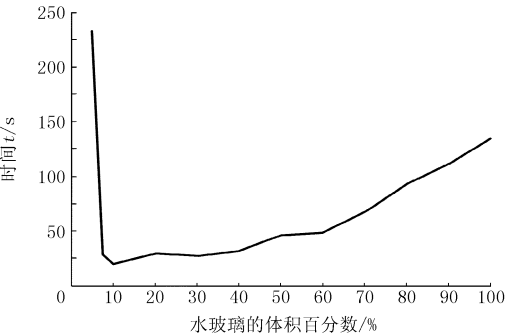


图 2 水泥浆中水玻璃含量与凝结时间关系图

从图 2 可以明显看出,在水玻璃掺入量较小时,凝结时间随着水玻璃的增加而缩短,当达到一定量时,凝结时间又随着水玻璃掺入量的增加而延长。这个临界点在 10%~15%,最短凝结时间约为 20 s。该试验结果可以有效指导现场双液注浆工作。

5.3.3 现场实施

双液注浆分孔口混合和井内混合 2 种方式,这里主要采用孔口混合式双液注浆,操作如图 3 所示。

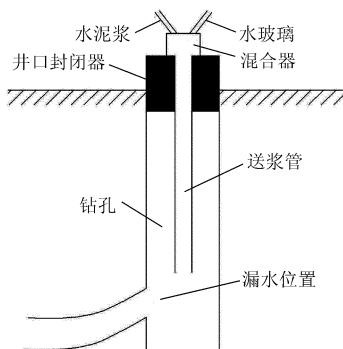


图3 孔口混合式双液注浆示意图

在实际操作中根据注浆压力的变化情况,注意调节水玻璃与水泥浆液的配比,尽量缩短初凝时间,提高浆液抗冲刷能力。同时由于浆液初凝时间短,注意施工过程的连续性,避免意外中断造成堵管、堵泵现象。

#### 5.4 ZK151孔处理思路

ZK151孔设计为Ⅲ序注浆孔,按照由疏到密的原则,先施工旁边的Ⅰ序孔(ZK150,ZK154),然后施工Ⅱ序孔(ZK152),最后才施工ZK151,终孔深度190.14 m。先于ZK151施工的ZK149(64.85~76.91 m段)、ZK150(77.66~82.73 m段)、ZK152(70.87~95.33 m段)、ZK154(71.15~82.18 m段)几个钻孔均出现井下严重跑浆现象,说明钻孔与井巷连通性非常畅通。同时与ZK151钻孔最近的水文观测孔CK1301的水位也相对较低,在ZK151孔注浆前仅有75 m左右。帷幕施工前的物探成果资料亦显示,ZK150—ZK158之间存在一过水通道。以上迹象说明,ZK151(67.63~81.28 m段)存在一与矿坑连通性非常好的过水通道,是决定本次帷幕注浆能否成功的关键钻孔。

处理思路:首先投放充填材料,期间穿插灌注聚氨酯类材料;待过水通道填充得差不多的时候,采用水泥-水玻璃双液浆灌注;双液浆处理完毕后,采用普通浆液进行高压压密注浆,直至达到注浆结束标准;最后,考虑到岩溶、裂隙发育的不规律性,为保证裂隙通道封堵的可靠性,再在钻孔上下游施工若干个补强孔,从而最终将该通道彻底封堵好。

### 6 效果分析

#### 6.1 主过水通道周边地下水位变化情况

为便于观测,矿方特意在ZK151孔上游施工一水文观测孔CK1301,该水文孔在ZK151孔注浆前水位是75 m标高,ZK151孔注浆后,该孔水位上升

至100 m标高,说明ZK151孔注浆对拦截地下水效果明显,帷幕外围水位抬升达25 m之多。

#### 6.2 主过水通道截水作用分析

ZK151孔主过水通道封堵完毕后,最为直观的是井下-40 m截流巷道出水量明显减少,尤其是井下3股大水的射程缩短至不到原来的一半,说明针对主过水通道制定的封堵措施有效,起到了明显的截水作用,甚至可以说主过水通道封堵质量直接关系到帷幕的成败。-40 m中段排水量由施工前平均18000~20000 t/d减少到6000~8000 t/d,减少了约12000 t/d。

#### 6.3 帷幕整体堵水效果分析

井下排水是验证帷幕堵水效果最直接的方式,通过帷幕注浆井下排水量大大减少,-40 m中段月平均排水量从原来的714584 t/m降为226172 t/m,堵水率达68.35%。

### 7 结语

(1)本次帷幕注浆,彻底解决常年影响矿山安全生产的水患及环境地质问题。井下排水量从帷幕注浆前的714584 t/m降为226172 t/m,堵水率达68.35%,实践证明,帷幕注浆技术能够从源头上解决矿山水患问题。

(2)在施工过程中,矿山正常生产排水,由此造成的巨大水头差给帷幕注浆施工带来很多问题,尤其是强径流带部位,是矿山注浆领域的一大难题,其封堵质量关系整条帷幕的堵水效果,本工程岩溶地区主过水通道封堵技术经验,可为类似工程提供参考。

(3)矿山注浆技术经验性很强,需要根据现场情况灵活调整注浆方式方法,以最少的工程投资,获得最佳的堵水效果。

### 参考文献:

- [1] 王伏春,刘源,乐应.强岩溶地区动水注浆技术探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(2):78-81.
- [2] 杨全,高广峰,韩贵雷,等.矿山帷幕注浆特殊地层施工工艺研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(11):67-69.
- [3] 黄才启,孙健.大水矿山截水帷幕注浆工程施工关键技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(12):74-78.
- [4] 程秀德.安徽新桥硫铁矿大型帷幕注浆试验工程[J].探矿工程,2000,(3):29-31.
- [5] 李万全,夏焰光.铜多金属矿帷幕注浆堵水方案研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(1):68-72.
- [6] 耿令强.济钢大帷幕注浆定向钻孔施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2002,(50):405-407.